

Implementasi Sistem Navigasi *Wall Following* Menggunakan Kontroler PID dengan Metode *Tuning* pada Robot Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) Divisi Senior Beroda

Arnas Elmiawan Akbar¹, Waru Djuriatno, ST., MT², Ponco Siwindarto, Ir., M.Eng.Sc³.

¹Mahasiswa Teknik Elektro UB, ^{2,3}Dosen Teknik Elektro UB

Email : elmiawan.akbar@gmail.com

Abstrak – Navigasi *Wall following* merupakan salah satu sistem navigasi robot yang digunakan dalam perlombaan seperti Kontes Robot Cerdas Indonesia dimana robot tipe *wall follower* ini dapat mengikuti kontur dinding arena. Robot tipe ini dipilih karena arena perlombaan dari Kontes Robot Cerdas Indonesia terdiri dari dinding-dinding yang membentuk lorong dan ruangan. Tugas akhir ini merancang dan mengimplementasikan algoritma kendali pada robot *wall follower* beroda tipe *differential steering* yang menggunakan kontroler PID (Proporsional, Integral, Diferensial) sebagai sistem navigasi robot *wall follower*. Tugas robot ini adalah menyusuri dinding arena Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) sesuai rule KRCI 2012. Kontroler PID bertujuan untuk memuluskan pergerakan robot saat menelusur ruangan/lorong lintasan. Dengan bantuan kontroler PID robot *wall follower* mampu bernavigasi dengan aman, halus, responsif dan cepat. Penentuan hasil parameter kontroler PID ini didapatkan dengan menggunakan metode osilasi Ziegler-Nichols. Metode ini dipilih karena dapat mempercepat proses *tuning* PID tanpa harus melewati proses *trial and error* yang cukup lama. Hasil parameter kontroler PID yang dicapai dari penelitian tugas akhir ini diperoleh nilai $K_p=4,2$, $K_i=0,5$ dan $K_d=7,5$

Kata Kunci : navigasi *wall following*, kontroler PID, *tuning*, KRCI

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) merupakan salah satu kompetisi robotika tingkat nasional yang diadakan secara teratur setiap tahun oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Dirjen Dikti). Robot akan diletakkan pada sebuah arena yang merupakan simulasi rumah yang terdiri dari ruang-ruang. Arena pertandingan yang digunakan dapat berubah-ubah sesuai dengan undian. Robot harus mampu beradaptasi dan melaksanakan tugasnya sesuai dengan kondisi arena pertandingan dengan cara bergerak menyusuri arena[1].

Permasalahan utama KRCI divisi beroda adalah bagaimana merancang dan menentukan metode pergerakan *mobile robot* agar robot dapat bergerak dan menyelesaikan tugasnya[2]. Salah satu solusi metode yang digunakan untuk menyusuri arena tersebut adalah dengan mengikuti sisi dinding (metode *wall following*) pada arena menggunakan sensor ultrasonik (PING))). Oleh karena itu, dibutuhkan suatu sistem untuk menunjang metode tersebut yang dapat mengatasi kelemahan-kelemahan dalam pergerakan.

Perancangan kontroler PID ini menggunakan metode *Tuning* parameter ke dua Ziegler-Nichols, yaitu

metode osilasi, karena dalam memodelkan perilaku metode navigasi *Wall Following*, sensor PING))) akan terus beresilasi karena jarak yang selalu berubah-ubah. Dengan menggunakan metode ini dapat dengan cepat menentukan parameter kontroler PID supaya sistem *close loop* memenuhi kriteria performansi yang diinginkan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dirancang dan diterapkan suatu sistem menggunakan kontroler PID sebagai pengontrol kestabilan robot otomatis dalam navigasi *wall following* serta membuat software untuk mengimplementasikan metode osilasi Ziegler-Nichols pada *tuning* parameter kontrol PID.

Sensor ultrasonik yang dipakai adalah sensor ultrasonik tipe PING))) untuk mengukur jarak. *Mobile robot* yang dibuat menggunakan penggerak tipe *differential drive*[3] sehingga digunakan dalam model lintasan/lorong sesuai aturan dalam KRCI Divisi Senior Beroda tanpa objek atau halangan apa pun. Sistem robot bersifat *close loop*, sebatas bernavigasi dan memantau posisi robot dalam arena. Modul Transceiver YS-1020 hanya digunakan untuk pengambilan data dalam proses *tuning* parameter dengan metode *Tuning* osilasi Ziegler-Nichols dalam desain kontroler PID.

II. METODOLOGI

Untuk menyelesaikan rumusan masalah dan merealisasikan tujuan penelitian, diperlukan metode untuk menyelesaikan masalah tersebut. Metode yang digunakan adalah sebagai berikut :

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari teori penunjang sistem yang dibutuhkan dalam perencanaan dan pembuatan alat. Teori yang diperlukan antara lain berkaitan dengan penggerak tipe *differential drive*, Kontroler PID, metode *tuning kontrol* PID, sensor ultrasonik (ping))), ATMega32, dan Modul RF YS-1020

B. Spesifikasi Sistem

Spesifikasi alat yang direncanakan adalah sebagai berikut:

- Robot berbahan aluminium dan mika *acrylic*.
- Menggunakan dua buah motor DC sebagai aktuator.
- Jari-jari roda *mobile robot* sebesar 3 cm dan tebal 1 cm. Dimensi robot berukuran panjang 18 cm dan lebar 14 cm
- Pendeteksi keberadaan dinding sekitar menggunakan 3 buah sensor ultrasonik.
- LCD berfungsi sebagai tampilan output yang diinginkan

- Mikrokontroler ATmega32 sebagai pengendali utama *mobile robot*.
- Sistem navigasi *wall following* yang diterapkan pada robot dengan sistem gerak diferensial.
- Navigasi *wall following* menggunakan kontroler PID dengan tuning osilasi Ziegler-Nichols.
- Jalur transmisi dan penerima data adalah frekuensi radio menggunakan Modul RF YS-1020

C. Perancangan dan Perealisasian Alat

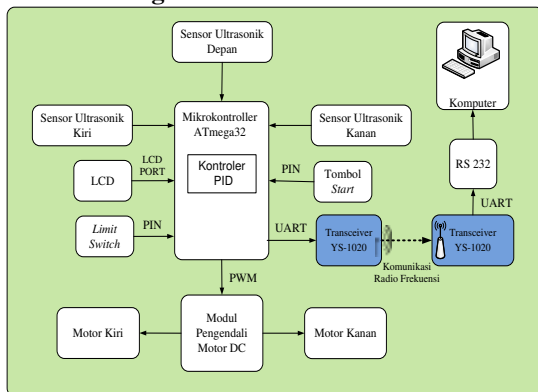
Perancangan dan pembuatan alat dalam penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu *hardware* dan *software*.

D. Pengujian Alat

Secara garis besar pengujian yang dilakukan adalah pengujian sensor, pengujian gerak robot(aktuator), pengujian petransmisi data, pengujian kontroler PID, pengujian *tuning* parameter PID dan pengujian sistem keseluruhan.

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Perancangan Sistem Keseluruhan



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem Perancangan Robot Wall Follower

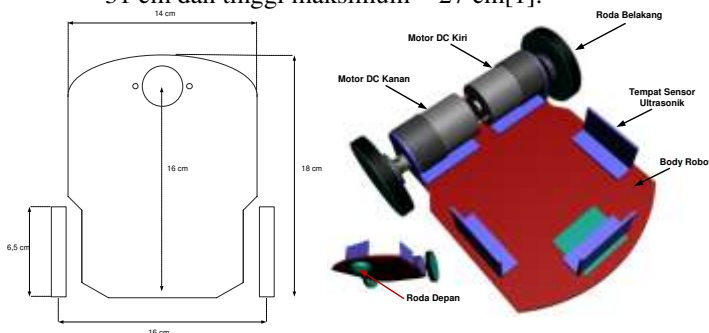
Diagram blok diatas terdiri dari :

- 1). Blok Mikrokontroler Utama
- 2). Blok sensor
- 3). Blok pengendali motor DC

B. Perancangan Perangkat Keras

1. Desain Mekanik

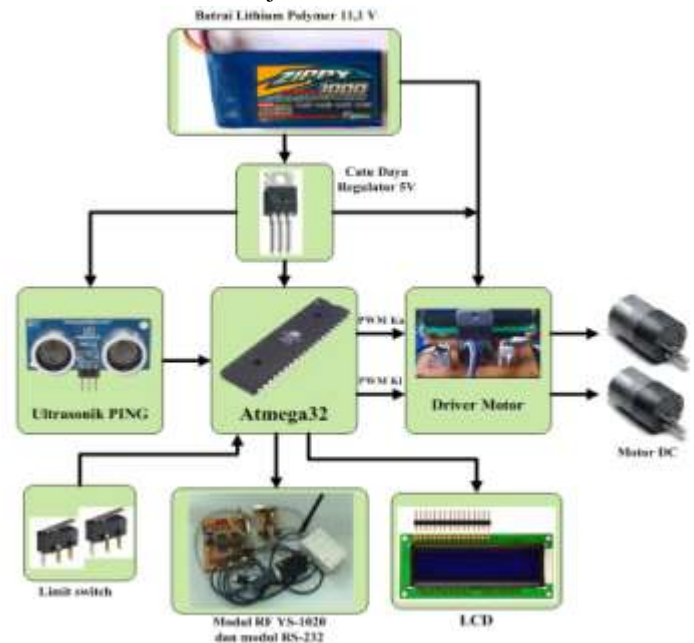
Sistem mekanik yang baik, mendukung pergerakan robot menjadi lebih baik. Berdasarkan Peraturan Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) Divisi Berkaki tahun 2012, batasan dimensi robot adalah panjang maksimum = 31 cm, lebar maksimum = 31 cm dan tinggi maksimum = 27 cm[1].



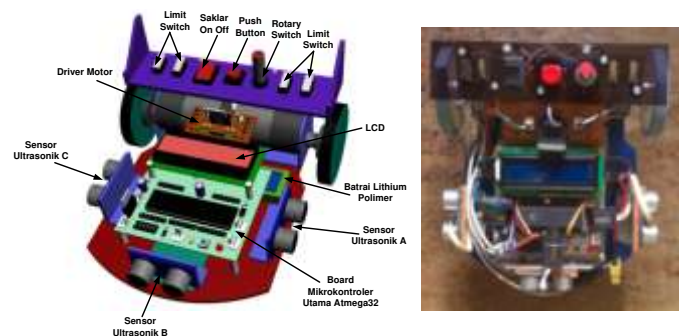
Gambar 3.2 Rancangan Desain Mekanik Tipe Differential Drive dan Hasil Perspektif Desain Mekanik Robot Wall Follower

2. Desain Sistem Elektronik

Sistem elektronik terdiri dari bagian masukan, bagian kendali, bagian keluaran dan bagian catu daya (baterai). Bagian masukan tiga buah sensor ultrasonik (PING))) dan sensor *limit switch* untuk memilih dan mengatur settingan pada robot. Pada bagian kendali menggunakan mikrokontroler ATmega32. Pada bagian keluaran berupa penampil LCD 2*16 dan *driver motor* sebagai penggerak aktuator robot. Diagram Blok Sistem Elektronik ditunjukkan dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem Elektronik



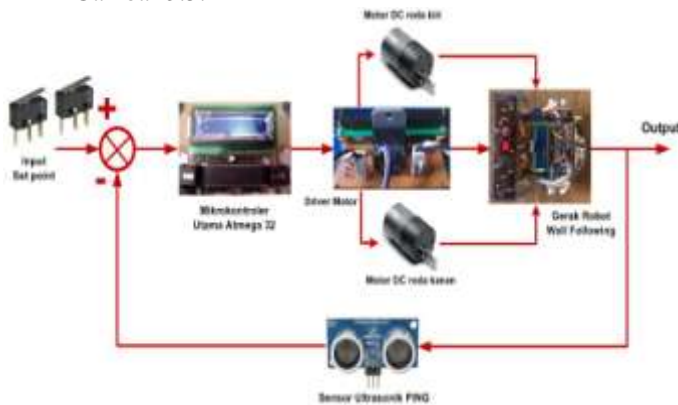
Gambar 3.4 Rancangan Desain Elektronik dan Hasil Implementasi Robot Wall follower

C. Perancangan Sistem Kontroler PID

Aksi-aksi yang diperlukan untuk mengatur sistem navigasi *wall following* dalam lintasan KRCI adalah:

- 1) navigasi aman (tanpa merusak dinding, tanpa menyentuh dinding, dapat memperbaiki posisinya dalam lintasan).
- 2) mengikuti dinding (*wall following*).
- 3) mengenali persimpangan.
- 4) mengambil keputusan arah yang dituju ketika berada dipersimpangan.
- 5) mengambil arah persimpangan sesuai dengan mode telusur kiri atau kanan.

Berikut ini adalah blok aplikasi Sistem kontroler PID pada robot *wall follower* ditunjukkan dalam Gambar 3.5.



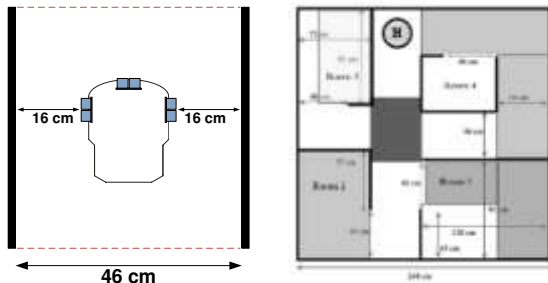
Gambar 3.5 Blok Aplikasi Perancangan Kontroler PID pada Robot *Wall Following*.

Komponen dari diagram blok :

- 1) *Set Point* : 16 cm dari dinding
- 2) Kontroler : Mikrokontroler
- 3) Aktuator : Motor DC
- 4) Sensor : Sensor Ultrasonik PING
- 5) *plant* : Posisi (Jarak)
- 6) *Output* (keluaran, respons): Pergerakan robot

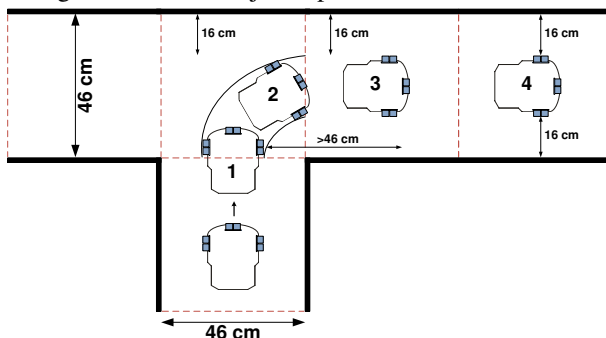
1. Fungsi Masukan pada Sisi Samping

Fungsi masukan pada sisi-sisi samping ini juga menjadi *set point* dalam proses *tuning*. Ilustrasi posisi robot dalam lintasan dan ukuran lintasan berdasarkan rule KRCI 2012 ditunjukkan pada Gambar 3.6



Gambar 3.6 (a) Ilustrasi Posisi Robot Dalam Lintasan, (b) Lintasan dan Ukuran Berdasarkan Rule KRCI 2012

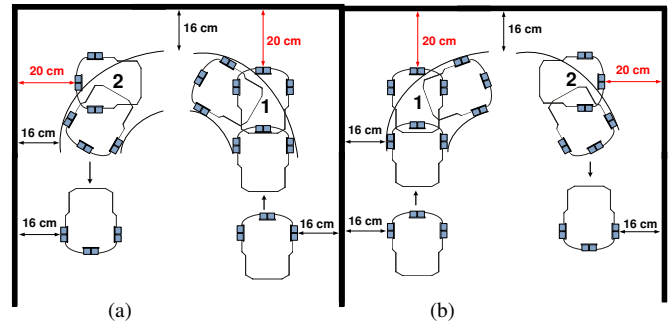
Selain itu, fungsi masukan untuk sensor samping adalah untuk mengetahui adanya belokan atau pertigaan. Ilustrasi untuk menentukan batas-batas fungsi masukan ditunjukkan pada Gambar 3.7



Gambar 3.7 Ilustrasi Untuk Menentukan Batas-Batas Fungsi Masukan.

2. Fungsi Masukan pada Sisi Depan

Fungsi masukan Sensor depan digunakan robot untuk melakukan gerakan manuver ke kiri atau ke kanan. Ilustrasi untuk menentukan batas-batas fungsi masukan ditunjukkan pada Gambar 3.8

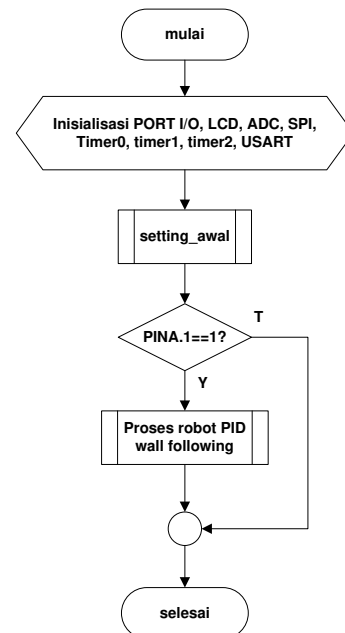


Gambar 3.8 (a) Ilustrasi Posisi Robot Ketika Mengikuti Dinding Kanan, (b) Ilustrasi Posisi Robot Ketika Mengikuti Dinding Kiri

D. Perancangan Perangkat Lunak

1. Pemrograman Kontroler PID pada Robot *Wall Follower*

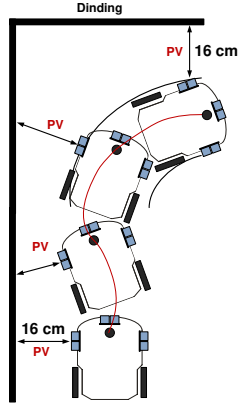
Diagram alir program utama kontroler PID meliputi proses inialisasi, *tuning* parameter, akumulasi error dan perhitungan PID sebagai proses berjalanya robot *follow* kiri atau *follow* kanan. Diagram alir program utama ditunjukkan dalam Gambar 3.9



Gambar 3.9 Diagram Alir Program Utama Mikrokontroler

Pembuatan program kontroler PID ini dilakukan berdasarkan persamaan kontroler PID digital. Kontroler PID digital merupakan bentuk lain dari kontroler PID yang diprogram dan dijalankan menggunakan komputer atau mikrokontroler. *Error* dan *last_error* yang akan digunakan pada perhitungan aksi kontroler PID. Setiap satu kali *looping* program, *error* akan diperbaharui dengan data yang diambil dari sensor, dan sebelumnya akan disimpan di *last_error*. Keluaran dari perhitungan program kontroler PID ini adalah nilai PWM[4].

Ilustrasi kontroler PID ditunjukkan pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Ilustrasi Kontroler PID pada Robot Wall Following.

Nilai-nilai variabel ditunjukkan pada persamaan (1) sampai persamaan (4).

$$\text{Error} = \text{SP} - \text{PV} \quad (1)$$

$$u(t) = K_p e(k) + K_i T \sum_0^k e(k) + \frac{1}{T} K_d (e_k - e_{k-1}) \quad (2)$$

$$\text{PWM motor kanan} = \text{Base PWM} + \text{PID} \quad (3)$$

$$\text{PWM motor kiri} = \text{Base PWM} + \text{PID} \quad (4)$$

Setpoint (SP) adalah suatu parameter nilai acuan atau nilai yang diinginkan. *Present Value* (PV) adalah nilai pembacaan sensor saat itu atau variabel terukur yang di umpan balik oleh sensor [4].

2. Tuning Parameter

Tuning parameter berfungsi untuk melakukan pengesetan terhadap parameter-parameter PID (K_p , K_i dan K_d) dan juga parameter-parameter lainnya seperti *time sampling*, penentuan *set point*, dll

Langkah metode tersebut ialah sebagai berikut:

- 1) Buat suatu sistem loop tertutup dengan kontroler P dan plant di dalamnya[5],
- 2) Kemudian hanya dengan menggunakan tindakan kontrol proporsional, dengan $K_i=0$, $K_d=0$ harga ditingkatkan dari nol ke suatu nilai kritis K_{cr} , disini mula-mula keluaran memiliki osilasi yang berkesinambungan[5].
- 3) Dari keluaran yang berosilasi secara berkesinambungan, penguatan kritis K_{cr} dan periode P_{cr} dapat ditentukan[5].
- 4) Menghitung nilai K_p , T_i dan T_d sesuai dengan aturan dari Ziegler-Nichols yaitu $K_p = 0.6 \times K_{cr}$, $T_i = 0.5 \times P_{cr}$ dan $T_d = 0.125 \times P_{cr}$ [6]
- 5) Nilai K_i dan K_d didapatkan dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut,[6]

$$K_i = \frac{K_p}{T_i} \quad \text{dan} \quad K_d = K_p \times T_d$$

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS SISTEM

Adapun pengujian yang dilakukan sebagai berikut:

- a) Pengujian data sensor ultrasonik PING)))
- b) Pengujian rangkaian pengendali motor DC
- c) Pengujian komunikasi serial UART ke PC

- d) Pengujian *tuning* parameter kontroler PID
- e) Pengujian keseluruhan sistem
 1. Pengujian robot mengikuti dinding kanan
 2. Pengujian robot mengikuti dinding kiri

A. Pengujian Sensor Ultrasonik

Hasil pengujian yang diperoleh melalui beberapa kali pengambilan data ditunjukkan pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Data Sensor Ultrasonik

Pengujian ke-	Jarak Uji (cm)	Sensor PING A	Sensor PING B	Sensor PING C
		Jarak Terukur (cm)	Jarak Terukur (cm)	Jarak Terukur (cm)
1	5	5,1	5,1	5,1
2	10	10,2	10,1	10,1
3	15	15,1	15,3	15,1
4	20	20,1	20,1	20,2
5	25	25,1	25,3	25,2
6	30	30,1	30,3	30,1
7	35	35,2	35,2	35,1
8	40	40,2	40,1	40,2
9	45	45,3	45,3	45,2
10	50	50,2	50,2	50,2

Berdasarkan Tabel 4.1, dapat diperoleh hasil kesalahan rata-rata yang terjadi saat pembacaan sensor ultrasonik sebesar 0,13 cm. Pada pengujian, kesalahan pembacaan yang terjadi berupa hasil pengukuran yang lebih besar pada nilai desimal dibelakang koma, sedangkan pada nilai desimal didepan koma bernilai sama dengan jarak yang diuji. Kesalahan tersebut tidak memberikan pengaruh pada kinerja sistem yang dirancang karena pada sistem hanya digunakan data jarak dengan nilai desimal didepan koma sehingga dapat disimpulkan bahwa pada sistem yang dirancang kesalahan pengukuran yang terjadi adalah nol.

B. Pengujian Rangkaian Driver Pengendali Motor DC

Hasil pengujian sinyal PWM mikrokontroler dan keluaran *driver* motor L298N dengan menggunakan osiloskop digital Velleman PCSU1000.

Tabel 4.2 Hasil pengujian respon rangkaian *driver* L298N terhadap masukan sinyal PWM

Duty Cycle PWM MK	Duty Cycle keluaran driver	Duty Cycle Selisih
0%	0%	0%
10%	13,8%	3,8%
20%	23,8%	3,8%
30%	32,7%	2,7%
40%	43,2%	3,2%
50%	52,7%	2,7%
60%	62,9%	2,9%
70%	72,4%	2,4%
80%	82,4%	2,4%
90%	91,8%	1,8%
100%	100%	0%
Selisih <i>duty cycle</i> rata-rata		2,3%

Berdasarkan Tabel 4.2 pada setiap pengujian terdapat selisih *duty cycle* keluaran rata-rata sebesar 2,3%. Selesih rata-rata 2,3% cukup bagus dan efisien karena tidak memberikan pengaruh yang besar pada kinerja sistem yang dirancang, sehingga dapat disimpulkan bahwa *driver* motor L298N dapat bekerja dengan baik saat mendapatkan sinyal PWM dari mikrokontroler.

C. Pengujian Tuning Kontroler PID

Prosedur pengujian dilakukan sesuai Gambar 4.1

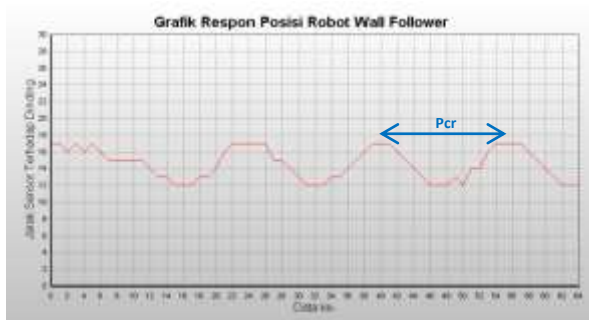


Gambar 4.1 Diagram Blok Pengujian Tuning Kontroler PID

Tabel 4.3 Hasil Pengujian dengan Meningkatkan Kontroler Proporsional

Kp	Ki	Kd	Kondisi Robot
1	0	0	Respon robot lambat, grafik berosilasi
3	0	0	Respon masih lambat, grafik berosilasi, robot masih tidak stabil
4	0	0	Respon robot meningkat, grafik tidak stabil.
5	0	0	Respon robot terlihat cepat, namun grafik masih belum berkesinambungan
7	0	0	Respon robot terlihat cepat, grafik menurun dan sudah berkesinambungan
9	0	0	Respon robot terlihat cepat, osilasi meningkat dan robot tidak stabil

Terlihat bahwa pada saat kontroler proporsional bernilai 7 robot dapat membentuk osilasi berkesinambungan. Respon sistem menampilkan data setiap 1 detik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



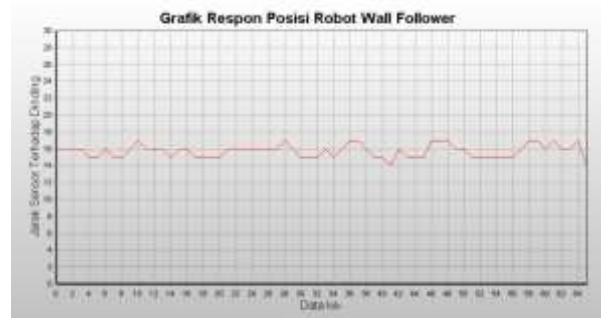
Gambar 4.2 Grafik Respon Posisi Sensor Ultrasonik Robot saat Terjadi Osilasi Kesinambungan dengan Kp=7

Sehingga dapat dihitung nilai K_{cr} dan P_{cr} yaitu,

- $K_{cr} = 7$
- $P_{cr} = (55 - 40) \times \text{Time Sampling} = 15 \times 1 \text{ s} = 15 \text{ s}$
- $K_p = 0,6 \times K_{cr} = 0,6 \times 7 = 4,2$
- $T_i = 0,5 \times P_{cr} = 0,5 \times 15 \text{ s} = 7,5 \text{ s}$

- $T_d = 0,125 \times P_{cr} = 0,125 \times 15 \text{ s} = 1,8 \text{ s}$
- $K_i = \frac{K_p}{T_i} = \frac{4,2}{7,5} = 0,5$
- $K_d = K_p \times T_d = 4,2 \times 1,8 = 7,5$

Hasil pengujian respon posisi sensor ultrasonik PING pada robot *wall follower* dengan dinding menggunakan nilai parameter Kp=4,2, Ki=0,5 dan Kd=7,5 dapat dilihat pada Gambar 4.3



Gambar 4.3 Grafik Respon Posisi Sensor Ultrasonik Robot dengan Kp=4,2, Ki=0,5 dan Kd=7,5

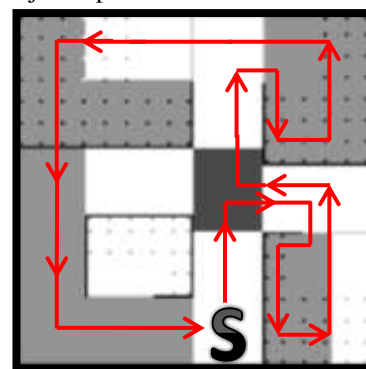
Dari hasil pengujian pada gambar 4.16 terlihat bahwa dengan menggunakan kontroler PID dengan nilai parameter Kp=4,2, Ki=0,5 dan Kd=7,5 robot dapat bergerak dengan baik. Terbukti dari grafik respon posisinya yang selalu mendekati *set point* jarak yang di *setting* 16 cm dari dinding atau sumbu 0 error berada di jarak 16 cm.

D. Pengujian Keseluruhan Sistem

1. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem kontroler PID dari parameter-parameter Kp, Ki dan Kd yang sudah didapatkan pada proses *tuning* yang diimplementasikan pada robot dalam mengikuti sisi dinding lintasan sebelah kanan.

Arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Ilustrasi Pergerakan Robot (Follow Kanan)

Pada Arena, Robot diletakan pada posisi awal (S) Arah panah menunjukkan ilustrasi rute yang dilewati robot selama proses pengujian.

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.4.

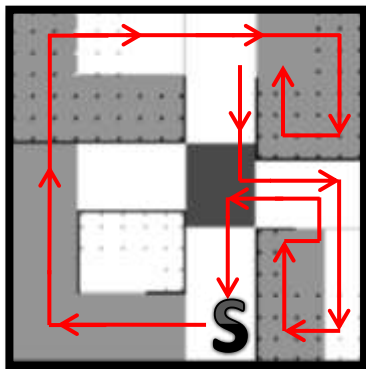
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kanan

Uji ke-	Jumlah Benturan	Lama waktu (detik)	Hasil Pengujian
1	2	30	Berhasil mengikuti dinding memotong 1 ruang
2	0	37	Berhasil mengikuti dinding
3	1	35	Berhasil mengikuti dinding
4	0	38	Berhasil mengikuti dinding
5	0	36	Berhasil mengikuti dinding

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa robot *wall follower* dengan menggunakan kontroler PID telah berhasil membuat keputusan dalam menentukan pergerakan robot selama mengikuti dinding sebelah kanan.

2. Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

Arena pengujian dan ilustrasi jalur pergerakan robot ditunjukkan pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Ilustrasi Pergerakan Robot (Follow Kiri) pada Arena Pengujian

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Robot Mengikuti Dinding Kiri

Uji ke-	Jumlah Benturan	Lama waktu (detik)	Hasil Pengujian
1	0	32	Berhasil mengikuti dinding
2	1	26	Berhasil mengikuti dinding memotong 1 ruang
3	0	28	Berhasil mengikuti dinding memotong 1 ruang
4	0	31	Berhasil mengikuti dinding
5	0	32	Berhasil mengikuti dinding

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa robot *wall follower* dengan menggunakan kontroler PID telah berhasil membuat keputusan dalam menentukan pergerakan robot selama mengikuti dinding sebelah kiri. Secara garis besar, performa sistem kontroler PID untuk mengikuti sisi dinding kanan maupun kiri berfungsi dengan baik. Hasil pengujian keseluruhan yang dilakukan baik pengujian

mengikuti dinding kanan dan pengujian mengikuti dinding kiri mendapatkan kemiripan hasil karena pada perancangan yang telah dilakukan menggunakan aturan aturan dan fungsi keanggotaan yang sama.

V. PENUTUP

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada pengerjaan tugas akhir ini, maka dapat diperoleh beberapa simpulan diantaranya:

1. Sensor ultrasonik (PING))) memiliki tingkat keakuratan tinggi dalam pembacaan jarak terhadap objek berupa dinding dengan kesalahan rata-rata sebesar 0,13 cm.
2. Pada *driver* motor L298N dapat berfungsi seperti yang diharapkan dan terdapat pergeseran sebesar 2,3% antara keluaran *driver* dengan masukan PWM mikrokontroler.
3. Perancangan algoritma kendali untuk membuat robot *wall follower* dapat bernavigasi di dalam arena KRCI dengan proses *tuning* metode osilasi Ziegler-Nichols telah berhasil dilakukan Sehingga proses *tuning* parameter PID bisa dilakukan lebih singkat tanpa perlu *trial and error* parameter K_i dan K_d .
4. Penerapan kontroler PID pada robot *wall follower* telah mampu membuat pergerakan robot menjadi sangat stabil dan mampu membuat robot *wall follower* bermanuver dengan aman, halus, responsif dan cepat, parameter kontroler PID tersebut diperoleh dari hasil *tuning* dengan metode osilasi Ziegler-Nichols dengan $K_p=4,2$, $K_i=0,5$ dan $K_d=7,5$.

Daftar Pustaka

- [1] DIKTI. 2012. *Panduan Kontes Robot Cerdas Indonesia 2012*. Jakarta: DIKTI.
- [2] Zulkarnain, Muhammad Yusuf. 2011. *Sistem Pemetaan Posisi pada Robot Kontes Robot Cerdas Indonesia (KRCI) Divisi Senior Beroda dengan Metode Decision Tree*. Malang: Skripsi Jurusan Teknik Elektro FT-UB.
- [3] Siegwart, Roland dan Illah R. Nourbakhsh. 2004. *Introduction to Autonomous Mobile robots*. London: MIT Press.
- [4] Fahmizal. 2010. *Merancang Robot Line Follower dengan kendali-pid*. <http://fahmizaleeits.wordpress.com/2010/05/08/robot-line-follower-dengan-kendali-pid>. Diakses tanggal 25 Juni 2012.
- [5] Kilian. 2002. *Modern Control Technology--Components & Systems (2nd Ed.)*. Delmar.
- [6] Ogata, Katsuhiko. 1997. *Teknik Kontrol Automatik (Sistem Pengaturan)*. Erlangga. Jakarta.